

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# 電子情報通信学会技術研究報告目次

## CONTENTS

### 〔環境電磁工学〕

#### 〔Electromagnetic Compatibility〕

- (1) EMC J 98-80  
携帯電話による頭部内上昇温度のアンテナ入力電力依存性 ..... 1  
城向剛博・王 建青・藤原 修(名工大)
- (2) EMC J 98-81  
携帯電話機で生ずる頭部内ホットスポットとドシメトリ計算 ..... 7  
牛本卓二・王 建青・藤原 修(名工大), 野島俊雄(NTT DoCoMo)
- (3) EMC J 98-82  
地震前兆電磁波の伝搬特性ならびに高エネルギー放射の観測状況について ..... 13  
畑 雅恭・田 学軍(愛知県立大), 山田義和(セファテクノロジー)  
馬場清英(中部大), 内匠 逸・矢橋清二(名工大)
- (4) EMC J 98-83  
東海地区におけるデジタル放送の電磁環境に関する電磁界解析 ..... 19  
宮崎保光(豊橋技科大)
- (5) EMC J 98-84  
地表面に近接する導体楕円柱による平面波散乱解析 ..... 25  
増田忠弘・宮崎保光(豊橋技科大)
- (6) EMC J 98-85  
Electromagnetic Characteristics of Group of Buildings in Microcellular  
Mobile Communication Environment ..... 31  
Paul Selormey, Yasumitsu Miyazaki (Toyohashi Univ. of Tech.)
- (7) EMC J 98-86  
気中マイクロギャップ放電に伴う過渡電圧・電流波形の分布定数系による測定 ..... 37  
川又 憲・佐藤利三郎(八戸工大), 嶺岸茂樹・芳賀 昭(東北学院大)
- (8) EMC J 98-87  
平衡線路回路におけるコモンからノーマルへのノイズモード変換に関する検討 ..... 43  
笹部孝司・吉田和久(松下電工), 藤原 修(名工大)
- (9) EMC J 98-88  
多層プリント基板にしろる電源層の面積と放射EMI ..... 49  
内田 雄・宮崎千春・岡 尚人(三菱電機)
- (10) EMC J 98-89  
有限長で曲がりのある伝送線路の伝送特性 ..... 55  
劉 維坤・上 芳夫(電通大)
- (11) EMC J 98-90  
光/電気変換器で駆動した模擬機器による電波無響室の特性評価 ..... 61  
川島鉄也・アキノ ホアン カルロス・木村永寿・徳田正満(九工大)
- (12) EMC J 98-91  
レイトレーシング法による電波無響室の特性改善 ..... 67  
猪ノ口真三子・木村永寿・徳田正満(九工大), 島田一夫(リケンエテック)
- (13) EMC J 98-92  
CISPR妨害波測定系を用いた放射妨害波源推定法に対する実験的検証 ..... 73  
山下浩二・徳田正満(九工大), 石田康弘(福岡県工技センタ)
- (14) EMC J 98-93  
透明性静電気保護膜の試作 ..... 79  
室田修男・小久保弘樹・松生秀正(愛知県工技センタ)
- (15) EMC J 98-94  
磁気式コードセンシング通信方式のセンシング感度の改善について ..... 85  
小塚洋司・折井 謙(東海大)

○ 電気学会; 環境電磁工学研究会, 電気学会東海支部, IEEE EMC-S Tohyo Chapter,  
URSI-E分科会共催

Note: The articles in this publication have been printed without reviewing and editing as received from the authors.

## 気中マイクロギャップ放電に伴う過渡電圧・ 電流波形の分布定数系による測定

川又 憲\* 嶺岸茂樹\*\* 芳賀 昭\*\* 佐藤利三郎\*

\*八戸工業大学工学部  
〒031-8501八戸市妙字大開88-1  
E-mail:kawamata@hi-tech.ac.jp

\*\*東北学院大学工学部  
〒985-8537多賀城市中央1-13-1  
東北学院大学工学部電気工学科

あらまし ESD放電および電気接点閉路時に発生する、極短ギャップでの放電に着目し、放電発生時の過渡電圧・電流特性について検討を行った。放電電極を含む測定系は分布定数系とし、周波数4GHzまで吟味した。

その結果、放電電圧の上昇に伴って電圧・電流立ち上がり時間が鈍化する傾向を確認した。また、特定の電極形状では立ち上がり時間が著しく鈍化する傾向を確認した。

キーワード ESD, 放電, 極短ギャップ, 電気接点, 分布定数系, 立ち上がり時間

## Measurement of Voltage and Current Transition Durations Due to Very short Gap Discharge in Air Using Distributed Constant Line System

Ken Kawamata\*, Shigeki Minegishi\*\*, Akira Haga\*\* and Risaburo Sato\*\*

\*Hachinohe Institute of Technology,  
88-1 Ohbiraki Myo Hachinohe,  
031-8501 JAPAN  
E-mail:kawamata@hi-tech.ac.jp

\*\*Faculty of engineering,  
Tohoku Gakuin University,  
1-13-1 Chuoh Tagajo, 985-8537 JAPAN

Abstract Very fast transition durations (rising part in positive polarity and falling part in negative polarity) due to starting of short gap discharge as a ESD and electrical contact of switch devices were investigated in time domain. Measurement system consists of a distributed constant line system with a tapered coaxial electrode which was taken care in the frequency range below 4 GHz.

As a consequence of the experiment, a relationship between discharge voltage and transition durations were confirmed.

Transition duration, ESD, Contact, Gap discharge, Time domain,

key words Distributed constant system

## 1. まえがき

充電された物体との接触および衝突などにより発生するESD（静電気放電）およびスイッチ等の電気回路開閉器の動作によって、幅広い周波数帯域にわたるインパルス性の電磁界変動が生じる。特に、電気システム内において発生したESDによるインパルス性の電磁雑音波は、系内を伝搬し、電気・電子素子の直接的な破壊や回路の誤動作を誘発し、システムの致命傷ともなり得る。

一方、近年の電気電子システム内部では情報伝達信号のデジタル化が進み、伝達信号の低レベル化および高速化がはかられている。これにより、外来電磁雑音、特にESDなどのインパルス性の雑音波による影響を受けやすい傾向にあり、イミュニティを検討する上で重要な要素となる。

このような現状を背景として、ギャップ放電に関する多くの研究がなされ、周辺電磁界の変動特性が明らかになってきている。特に電磁雑音源として危惧される放電立ち上がり部に関しては、立ち上がり時間特性と放電電圧との関係が検討され、約3kV～6kV以上の電圧においては、電流立ち上がり時間が約1ns～20ns程度と報告されている<sup>(1)-(7)</sup>。

しかし、3kV以下における立ち上がり特性は1ns以下の非常に急峻な現象とされているが、時間領域における検討は、測定系による制約などにより難しく、その報告例も非常に少ないのが現状である<sup>(8)-(11)</sup>。このため、数百Vから1kV前後の比較的に低い電圧領域における放電の過渡電圧・電流特性は、未だ不明確な点が多く、電磁雑音特性の究明を進める上での障害となっている。

そこで筆者らは、特に、1500V以下の電圧領域における極短ギャップの放電雑音に着目し、その過渡電圧・電流特性を究明することを目的に検討を進めてきた<sup>(12)-(14)</sup>。その結果、放電電圧の上昇に伴って電圧・電流立ち上がり時間が鈍化する傾向を確認した。また、特定の電極形状では立ち上がり時間が著しく鈍化する傾向を確認した。本報告では、これら放電発生時の過渡電圧および電流の立ち上がり時間特性について述べる。

## 2. 分布定数系実験システム

本実験にて設定した分布定数系の実験システムは、放電により発生する非常に急峻な過渡電圧変動の周波数成分を考慮し、分布定数線路を用いて放電電極を含む実験系を約4GHzの高周波数域まで吟味した。これにより、放電によって発生する過渡現象に対して電氣的

に均一な伝送路を提供し、分布定数回路に蓄えた電荷により、一定時間均一な電気エネルギーを供給した状態で放電を発生させることが可能となった。さらに、電源内部および負荷等の複雑な内部インピーダンスの影響を一定時間、取り去ることができるものである。

分布定数系の実験システムを図1に示す。回路は、直流高圧電源、同軸テーパ型極短ギャップ電極、そして分布定数回路の代表としてセミリジットケー

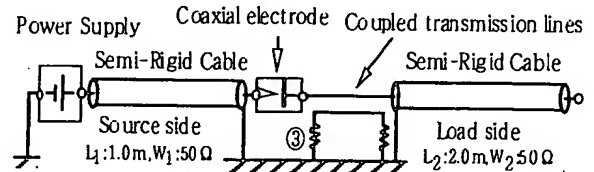


図1 分布定数系実験システムの構成

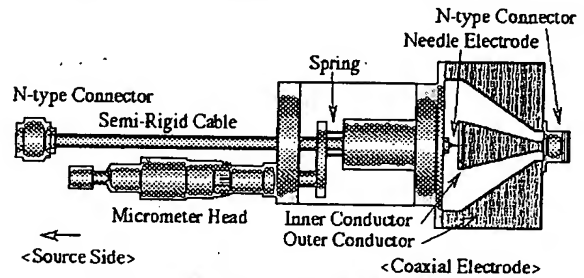
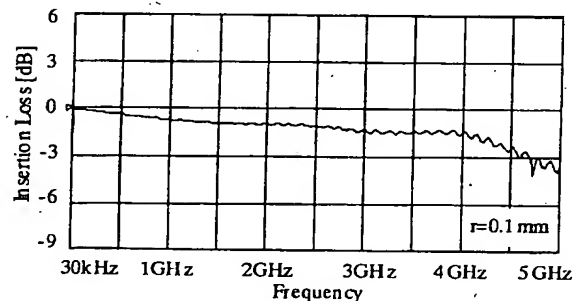
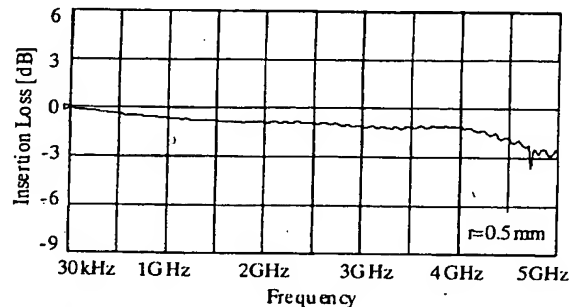


図2 同軸テーパ型電極の構造

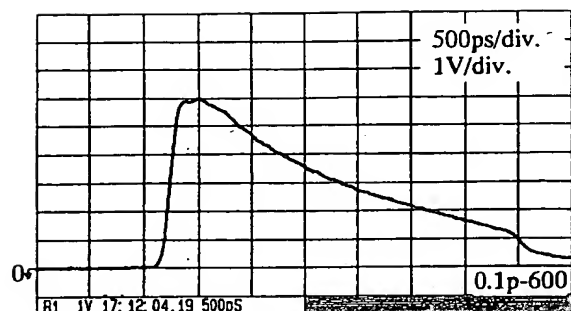


(a) insertion loss in 0.1 mm radius of curvature of needle

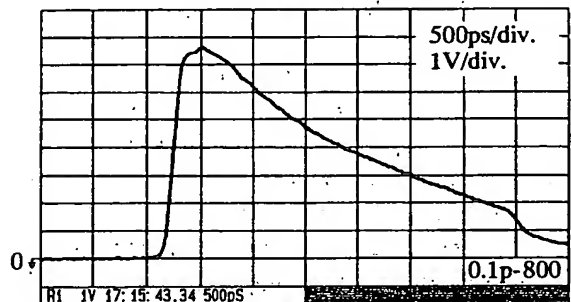


(b) insertion loss in 0.5 mm radius of curvature of needle

図3 同軸テーパ型電極の挿入損失



(a) 電源電圧 600V



(b) 電源電圧 800V

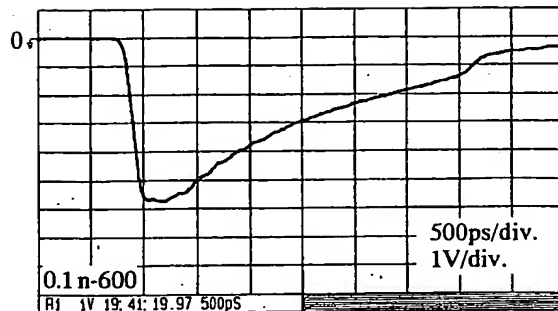


(c) 電源電圧 1000V

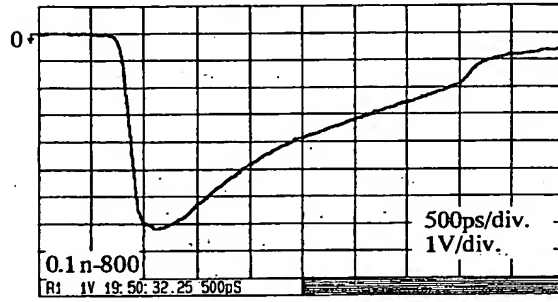
図4 放電に伴う電圧立ち上がり波形 (正極性)  
(針電極曲率半径0.1mm)

ブル、さらに電圧立ち上がり部の波形を詳細に測定するための方向性結合器 (HP771D, 0.1-2GHz, 20dB) により構成している。今回使用した方向性結合器の時間領域におけるパルスレスポンスは、34psの立ち上がりパルスに対して約70psの立ち上がり時間応答を示した。

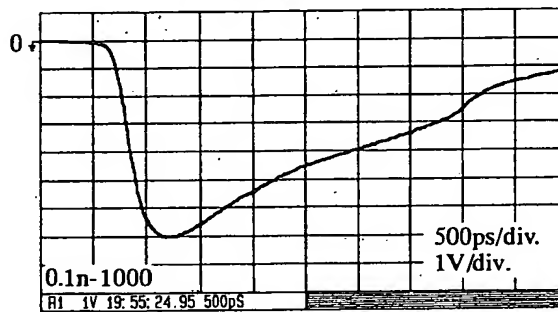
図2に同軸テーパー型電極ならびに電極周辺部の構造を示す。電極は、放電による電圧立ち上がりが非常に急峻であるため、インピーダンスのマッチングを考慮し、特性インピーダンスが50Ωとなるようテーパーを設けて試作した。また、針電極は、電源側セミリジットケーブルの中心導体を直接加工し、先端部曲率半径0.1mmおよび0.5mmの2種類を試作した。図3に試作した同軸テーパー型電極の周波数特



(a) 電源電圧 600V



(b) 電源電圧 800V



(c) 電源電圧 1000V

図5 放電に伴う電圧立ち下がり波形 (負極性)  
(針電極曲率半径0.1mm)

性を示す。図(a)は針電極先端部曲率半径が0.1mmの場合であり、(b)は曲率半径0.5mmの場合である。周波数特性は30kHz~56Hzの挿入損失で示しており、縦軸は3dB/div.である。試作した同軸テーパー電極の挿入損失は、4.56Hz以下において3dB以内であり、また、針電極形状による差も小さいことがわかる。

### 3. 実験方法および過渡電圧波形の測定結果

実験は、針電極を施したセミリジットケーブルをマイクロメータにより押し出し、電極間隔を徐々に接近させ、放電が生じた瞬間の方向性結合器出力電圧を、0.6mの同軸ケーブル (502W) にて導き、アッテネータ (10dB, 12.4GHz) を介して、トランゼ

ントディジタイザ(Tektronix SCD5000, 4.56GHz)により観測した。また実験のパラメータは、電源極性および針電極先端部の曲率半径とし、電源電圧と電圧立ち上がり時間(負極の場合は電圧立ち下がり時間)の関係を測定した。

図4および図5に放電発生時の電圧立ち上がりおよび立ち下がり波形例を示す。図4が正極時における立ち上がり波形であり、図5が負極時の立ち下がり波形である。また、両者の図において、(a)が電源電圧600V、(b)が800Vそして(c)が1000Vの場合である。ここで、針電極の先端部曲率半径は0.1mmである。放電開始時における電圧立ち上がりおよび立ち下がり時間は、放電電圧の上昇に伴って鈍化する傾向を示した。また、これらの波形は比較的の高い再現性で観測された。

図6は電源電圧変化に対する電圧立ち上がりおよび立ち下がり時間変化の関係を示したものである。図上段(a-p)および(b-p)が電源極性を正極とした場合であり、下段(a-n)および(b-n)が負極性の場合である。また図左列が針電極の曲率半径を0.1mmとした場合であり、右列は0.5mmとした場合である。各電圧値における測定は60回の観測を繰り返し、その最大値、平均値および最小値により示した。

正極性の場合の図(a-p)および(b-p)、さらに負極性の場合の図(b-n)は電圧の上昇に伴って徐々に鈍化する傾向が確認できる。これらに対して、図(a-n)の針電極の曲率半径が0.1mm、電源極性負極時の場合、1200V付近から立ち下がり時間が急激に鈍化することがわかった。この立ち上がり時間差の原因として、電極付近の電界分布が、平等電界から不平等電界分布となる境界域が影響しているものと考えられる。

#### 4. 過渡電流波形の測定

電流波形観測に用いた電流センサの配置を図7示す。センサは、放電に伴う電流を $0.4\Omega$  ( $2\Omega \times 5$ 本並列)の抵抗により電圧として取り出すものである。ただし、抵抗の配置は図に示すように電極と結合線路間の外部導体に間隙を設けて配置した。図8に試作した電流センサの周波数特性を示す。図(a)が整合終端時の反射減衰量であり、(b)は電流出力端への伝送特性である。試作センサの反射減衰量は周波数5GHzにおいて20dB以下であり、概ね無反射の良好な特性を示した。また、伝送特性は明確な共振点などは見られなかった。

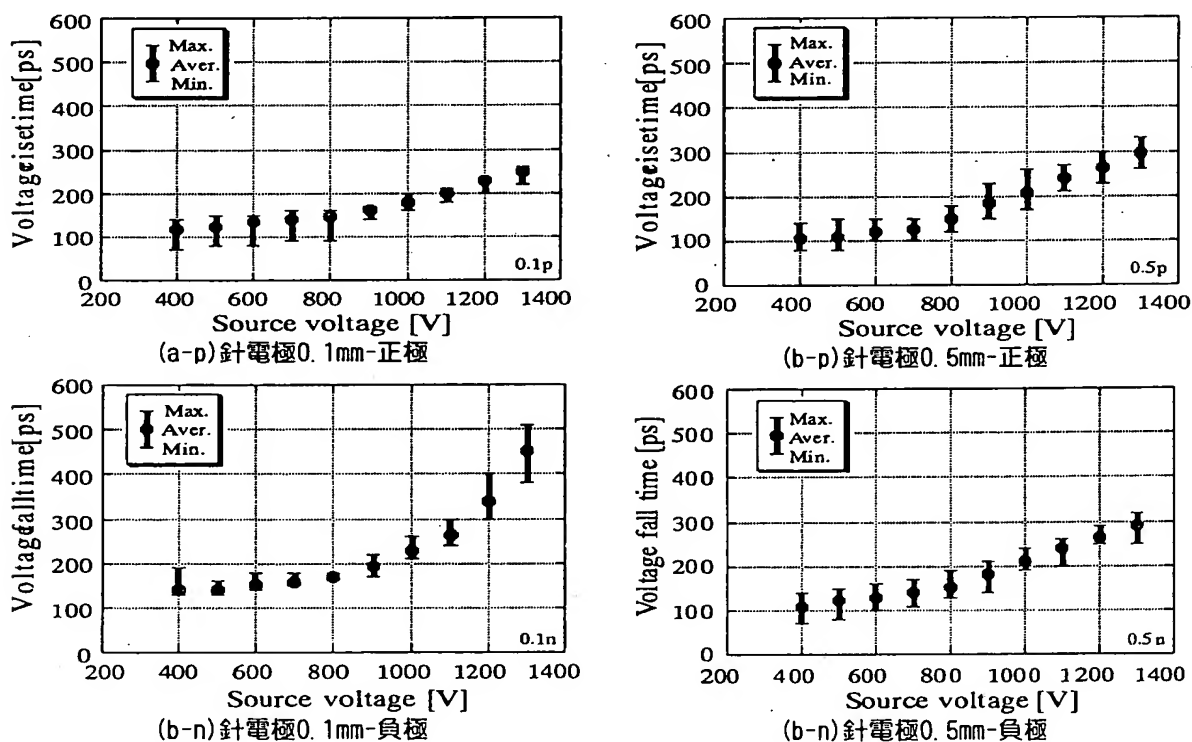


図6 電圧変化に対する電圧立ち上がり時間・立ち下がり時間特性(上段-正極、下段-負極)

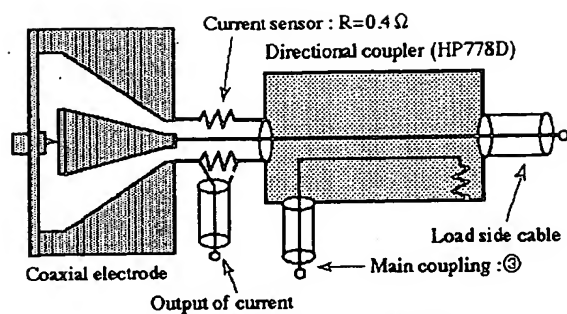
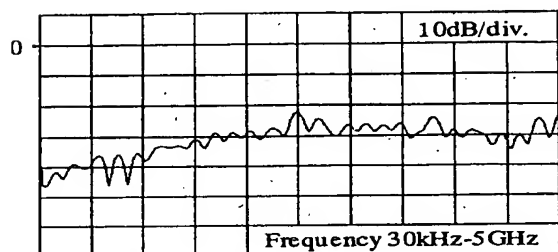
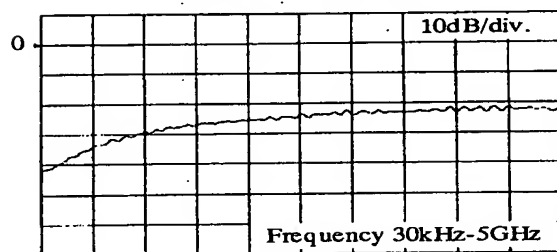


図7 電流センサの配置



(a) Insertion loss :  $S_{11}$

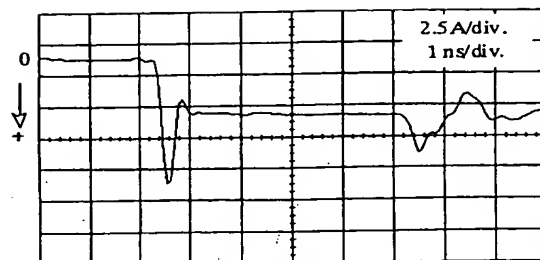


(b) Transmission :  $S_{21}$

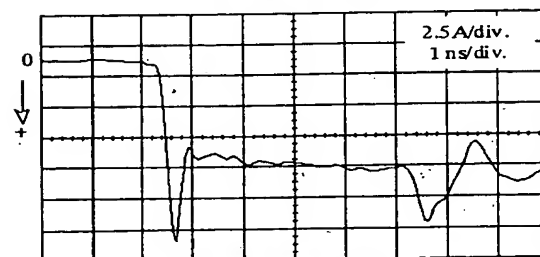
図8 試作した電流センサの周波数特性

実験はこれまでと同様に、電極間隔を徐々に接近させ、放電が生じた瞬間の電流センサ出力電圧を観測した。なお波形の観測にはディジタイジングオシロスコープ (HP54720D, 8GS/s, 2GHz) を用いた。また、本報告における電源極性は正極のみである。

放電開始時の電流波形を図9に示す。図において、(a)は電源電圧を500Vとした場合であり(b)は1000Vの場合である。また、針電極の先端部曲率半径は0.1mmである。電流波形は、立ち上がり部の波形初期に急峻なインパルスの過渡変動を示し、その後は、線路の特性インピーダンスで決まる電流値にて、ステップ的な過渡特性となる。この立ち上がり部におけるインパルスの波高値は、電源電圧の上昇に伴って上昇するものの、1000V付近から飽和して上昇を示さなくなった。さらに電圧が上昇するとインパルス部分は消滅し、ステップ的な



(b) 電源電圧500V



(b) 電源電圧1000V

図9 過渡電流波形 (0.1mm, 正極)

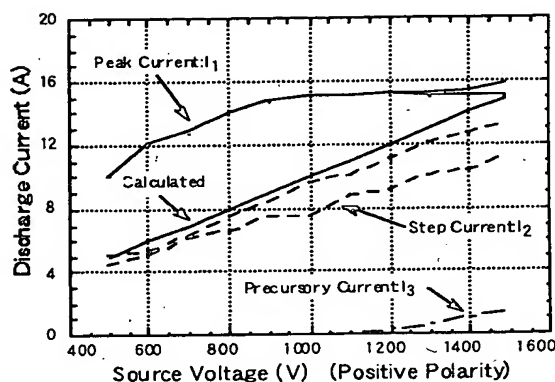


図10 電源電圧上昇に伴う過渡電流波形の変化特性 (針電極0.1mm, 正極時)

過渡波形となった。これら電源電圧上昇による過渡電流波形の変化特性を図10に示す。ここで、針電極の先端部曲率半径は0.1mmであり、電源極性は正極である。また、立ち上がり初期のインパルスの部分の波高値をピーク電流 $I_1$ 、インパルス後のステップ的部分の電流値をステップ電流 $I_2$ 、さらにはインパルスの変化以前に現れる微弱な電流を前兆電流 $I_3$ としている。インパルスのピーク電流は、約1000V付近から上昇傾向が飽和し、1500V付近でステップ電流値と同様となることかわかる。また、ステップ電流値は、電極に接続される同軸ケーブルの特性インピーダンスと電源電圧によってきま

る理論電流と概ね一致しながら直線的に上昇していることがわかる。さらに、インパルスの変化以前の前兆電流は、電源電圧1200Vより高い電圧において徐々に増加していることがわかる。

ピーク電流の過渡要因については、現段階で不明な点が多く、現在、現象およびシステムの時間領域応答の両者から考察中である。また、前兆電流については、放電が完全破壊へ進展する前に生じるコロナ等の部分放電によるものと考えられるが、放電メカニズムとの関係については今後の課題である。

## 5. まとめ

1500V以下の電圧領域における極短ギャップ放電に伴う過渡電圧・電流特性について分布定数系の実験回路を用いて検討を行った。

その結果、(1)放電電圧の立ち上がり時間は、電圧の上昇に伴って鈍化する傾向を示した。また、(2)針電極先端部曲率半径0.1mmにおける負極性時の1200V以上において、電圧の立ち上がり時間が急激に鈍化する傾向を確認した。さらに、過渡電流特性として、(3)放電電流は、放電開始直後インパルスのピーク電流が流れ、後に回路インピーダンスによる電流へと移行する過渡プロセスを確認した。さらに(4)ピーク電流は、電源電圧1000V以上で上昇傾向が飽和し、1500V以上では回路インピーダンスによるステップ電流と同様となり、インパルスプロセスが消滅することがわかった。

## 文 献

- [1] P.F.Wilson and M.T.Ma:"Field radiated by electrostatic discharges", IEEE Trans. on Electromagn. compat., EMC-33, no.1, pp.10-18, Feb. 1991.
- [2] M.Honda:"Indirect ESD measurement using a short monopole antenna", 1990 IEEE Int'l. Symp. on Electromagn. Compat., pp.641-645, Aug.1990.
- [3] L.M.MacLeod and K.G.Balmain,"Compact Traveling-Wave Physical Simulator for Human ESD", IEEE Trans. on Electromagn. Compat., vol. 39, no. 2, pp. 89-99, May 1997.
- [4] D.Pommerenke:"ESD:transient fields, arc simulation and rise time limit", Journal of ELECTROSTATICS, vol.36, pp.31-54, 1995.
- [5] R.Zaridze, D.Karkashadze, R.G.Djobava, D.Pommerenke, and M.Aidam:"Numerical Calculation and Measurement of Transient Fields from Electrostatic Discharge", IEEE Trans. on Components, Packaging, and Manufa. Tech., Part C, vol.19, no.3, July 1996.
- [6] O.Fujiwara:"An Analytical Approach to Model Indirect Effect Caused by Electrostatic Discharge", IEICE Trans. on Commun., vol.E-79-B, no.4, April 1996.
- [7] S.Ishigami, R.Gokita, Y.Nishiyama, I.Yokoshima and T.Iwasaki:"Measurements of fast transient fields in the vicinity of short gap discharges", IEICE Trans. on Commun., vol.E78-B, no.2, pp.199-206, Feb. 1995.
- [8] K.Arai, W.Janischewskyj and N.Miguchi,"Microgap Discharge Phenomena and Television Interference", IEEE Trans.Power Appar.&Syst.,PAS-104,No.1, 1985.
- [9] D.Pommerenke:"ESD:waveform calculation, field and current of human and simulator ESD", Journal of ELECTROSTATICS, vol.38, pp.31-54, 1996.
- [10] B.Daout and H.Ryser,"The reproducibility of the rising slope in ESD testing", Proc. of 1986 IEEE Int'l Symp. on Electromagn. Compat., pp.467-474, Aug.1986.
- [11] R.Wallace,"6GHz time Domain Measurement of Fast Transient Events", Proc. of 1992 IEEE Int'l Symp. on Electromagn. Compat., pp.460-463, Aug.1992.
- [12] 川又憲, 楊心偉, 芳賀昭, 佐藤利三郎:"電気接点放電による高速過渡現象の分布定数系実験回路を用いた観測法の提案", 信学論, Vol.J72-B-II, No.10, pp.565-571, Oct.1989
- [13] 川又憲, 芳賀昭, 佐藤利三郎:"電気接点放電に伴う電圧立ち上り部の分布定数系実験回路による観測", 信学論, Vol.J76-B-II, No.1, pp.66-68, Jan. 1993.
- [14] K.kawamata, S.Minegishi, A.Haga and R.Sato, "Measurement of Very-Fast-Voltage Rise Curve Due to Gap Discharge Using Coupled Transmissin Lines in Distributed Constant System", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.46, no.4, pp.918-921, Aug. 1997